

УДК 621.791.01: 621.79.05

А. Ю. Мельников, А. М. Фивейский

Уральский федеральный университет

М. А. Шолохов

ООО «ШТОРМ»,

г. Екатеринбург

А. Е. Филяков

Московский государственный технический университет,

г. Москва

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ДВУХДУГОВОЙ СВАРКИ УГЛОВЫХ ШВОВ

В данной статье рассмотрена инженерная методика расчета параметров режима двухдуговой сварки наклонным электродом угловых швов. Обоснована необходимость корректировки параметров режима на второй дуге от подогрева металла первой дугой. Полученные поправочные коэффициенты позволяют с удовлетворительной точностью определять параметры режима при заданных размерах сварного соединения.

Ключевые слова: методика расчета, угловые швы, двухдуговая сварка, сварка под флюсом, двутавровая балка.

A. Melnikov, M. Sholokhov, A. Fiveyskiy, A. Filyakov

ENGINEERING METHOD FOR CALCULATING MODE PARAMETERS TWIN-ARC WELDING OF FILLET WELDS

The present article covers the engineering method for calculating mode parameters under twin welding of fillet welds. The necessity of mode parameters adjustment at the second arc due to heated metal of the first arc was proven. The obtained correction indexes allow us to determine with satisfactory accuracy the mode parameters under given dimensions of weld joint.

Keywords: method of calculation, fillet welds, twin-arc welding, submerged arc welding, H-beam.

Двухдуговая сварка является перспективным направлением повышения эффективности производства, снижения тепловложения, уменьшения остаточных деформаций и повышения служебных характеристик соединений [1]. В работе [2] была предложена технология двухдуговой сварки под флюсом в раздельные ванны наклонным электродом поясных швов двутавровых балок,

которая позволяет устранять основные недостатки сварки «в лодочку», а именно: низкую производительность, недопустимые деформации, трудность обеспечения сквозного проплавления стенки балки.

В тоже время применение предложенной методики предъявляет жесткие требования к выбору режимов сварки и обеспечению точного положения электрода относительно стыка. В настоящее время в литературе практически отсутствуют данные по расчету режимов двухдуговой сварки в отдельные ванны наклонным электродом. На данный момент известно несколько методик расчета режимов двухдуговой сварки [3–5]. При этом они направлены на расчет режимов двухдуговой сварки в общую ванну, а также не учитывают особенности сварки наклонным электродом.

В данной работе предложена инженерная методика расчета режимов двухдуговой сварки в отдельные ванны наклонным электродом угловых швов, основанная на методике, предложенной В. П. Демянцевичем [6].

На первом этапе выполняют расчет параметров режима первой дуги с учетом обеспечения требуемой глубины проплавления. Для этого:

1. Вычерчиваем эскиз сварного соединения. На эскизе по предложенному алгоритму определяем расстояние смещения электрода от полки.

Геометрическое построение величины смещения электрода должно быть выполнено в следующей последовательности:

- вычерчиваем эскиз сварного соединения (рис. 1) и откладываем катеты шва на полке и стенке. Проводим линию АБ, образуя поверхность плоского шва;

- проводим прямую ГЖ перпендикулярно отрезку АБ. При этом отрезок АГ должен быть равен отрезку ГБ;

- из точки А проводим линию АОД под углом α (угол наклона электрода относительно вертикали) к плоскости стенки;

- через пересечение прямой ГЖ и линии АОД проводят отрезок ОЕ перпендикулярный линии АОД. Получившийся отрезок является осью шва;

- точка пересечения отрезка ОЕ и плоскости стенки определяет расстояние a , на которое необходимо сместить электрод для получения требуемых размеров шва;
- для получения гарантированного перекрытия швов глубину проплавления полки необходимо принимать равной $0,7\delta_c$;
- принимая форму проплавления – полуэллипс, можно вычертить линию сплавления. При этом оси полуэллипса равны длинам отрезков АО и ОЕ.

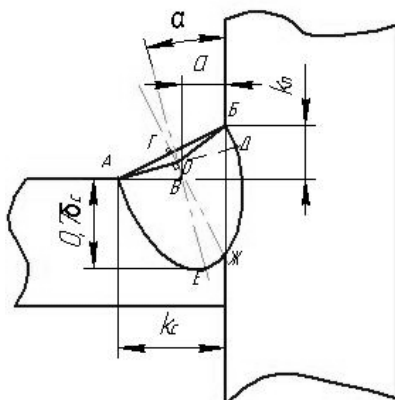


Рис. 1. Схема для определения расстояния «а» - смещения электрода от полки

2. В соответствии с рис. 2 и формулой (1) определяем площадь металла в усилении и измеряем общую высоту и ширину шва.

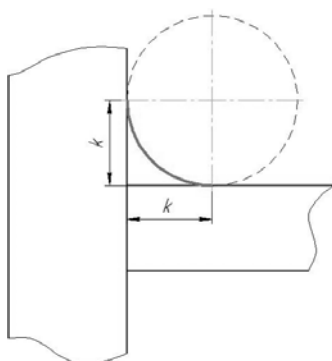


Рис. 2. Схема для определения критической площади металла в усилении

Площадь металла в усилении для шва с неравными катетами может быть определена по формуле:

$$F_y^{kp} = k_1 \cdot k_2 \cdot \left(1 - \frac{\pi}{4}\right), \quad (1)$$

где k_1 и k_2 – катеты углового шва, мм.

3. Определяем расчетную глубину проплавления в соответствии со следующим уравнением:

$$h_p = H - \frac{F_n}{0,73 \cdot e}, \quad (2)$$

где F_n – площадь наплавленного металла, мм²; H – общая высота шва, мм; e – ширина шва, мм.

При расчете соединений с разделкой кромок или зазором площадь наплавленного металла включает в себя не только площадь металла в усилении, но и площадь разделки или площадь зазора.

4. Определяем диапазон сварочного тока

$$I_{св} = (80...100)h_p \quad (3)$$

Из полученного диапазона выбираем ориентировочное значение силы тока.

5. При выбранном значении силы тока определяем по следующему уравнению напряжение на дуге, необходимое для удовлетворительного формирования шва

$$U_d = 20 + \frac{0,05 \cdot I_{св}}{\sqrt{d_э}}, \quad (4)$$

где $d_э$ – диаметр электрода, мм.

6. Затем рассчитывают скорость сварки по следующей зависимости:

$$V_{св} = \frac{A}{I_{св}}, \quad (5)$$

где A – коэффициент, зависящий от диаметра проволоки, $A \cdot \frac{м}{ч}$

Значения коэффициента A приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения коэффициента A

Диаметр электрода $d_э$, мм	Значение коэффициента A , $A \cdot \frac{м}{ч}$
1,2	от $2 \cdot 10^3$ до $5 \cdot 10^3$
1,6	от $5 \cdot 10^3$ до $8 \cdot 10^3$
2,0	от $8 \cdot 10^3$ до $12 \cdot 10^3$
3,0	от $12 \cdot 10^3$ до $16 \cdot 10^3$
4,0	от $16 \cdot 10^3$ до $20 \cdot 10^3$
5,0	от $20 \cdot 10^3$ до $25 \cdot 10^3$
6,0	от $25 \cdot 10^3$ до $30 \cdot 10^3$

7. Далее определяется величина погонной энергии по уравнению:

$$q_{\text{п}} = \frac{36 \cdot I_{\text{св}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{э}}}{V_{\text{св}}}, \quad (6)$$

где $\eta_{\text{э}}$ – эффективный КПД нагрева изделия дугой ($\eta_{\text{э}} = 0,8 \dots 0,85$).

8. Затем рассчитываем коэффициент формы проплавления:

$$\varphi_{\text{пр}} = k' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{\text{св}}) \cdot \frac{d_{\text{э}} \cdot U_{\text{д}}}{I_{\text{св}}}, \quad (7)$$

где k' – коэффициент, зависящий от рода, полярности тока и его плотности в электроде; $\varphi_{\text{пр}}$ – коэффициент формы проплавления.

При плотности тока $j < 120 \text{ A/mm}^2$ и сварке на постоянном токе обратной полярности коэффициент k' определяют по формуле:

$$k' = 0,367 \cdot j^{0,1925} \quad (8)$$

При плотности тока $j < 120 \text{ A/mm}^2$ и сварке на постоянном токе прямой полярности коэффициент k' определяют по формуле:

$$k' = 2,82 / j^{0,1925} \quad (9)$$

При сварке на переменном токе во всем диапазоне плотности тока коэффициент k' равен 1.

При плотности тока $j > 120 \text{ A/mm}^2$ и сварке на постоянном токе обратной полярности $k' = 0,92$, на прямой полярности $k' = 1,12$.

Плотность тока можно определить по формуле:

$$j = \frac{4 \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_{\text{э}}^2} \quad (10)$$

9. Фактическая глубина проплавления на выбранных параметрах режима сварки определяется по формуле:

$$h_{\text{п}}' = 0,076 \cdot \sqrt{\frac{q_{\text{п}}}{\varphi_{\text{пр}}}} \quad (11)$$

10. Определяем ширину шва по уравнению:

$$e_{\text{п}}' = \varphi_{\text{пр}} \cdot h_{\text{п}}' \quad (12)$$

Значение фактической глубины проплавления и фактической ширины шва не должны отличаться от заданных значений более чем на 5%. При большем расхождении корректируют значение параметров режима сварки и расчет повторяют заново.

11. Определяем скорость подачи проволоки исходя из условия теплового баланса дуги по следующей зависимости:

$$V_{\text{пп}} = \frac{(I_{\text{св}} \cdot (U_{\text{а}} + \varphi) + I_{\text{св}}^2 \cdot \rho \cdot \frac{l_{\text{эл}}}{F_{\text{эл}}}) \cdot 36}{F_{\text{эл}} \cdot \gamma_{\text{эл}} \cdot \Delta h_{\text{эл}}}, \quad (13)$$

где $U_{\text{а}}$ – падение напряжения на аноде, В;

φ – работа выхода электронов, В;

ρ – удельное электрическое сопротивление металла при температуре 300 °С, мкОм×см²/мм;

$F_{\text{эл}}$ – площадь поперечного сечения электрода, см²;

$\gamma_{\text{эл}}$ – плотность металла электрода, г/см³;

$\Delta h_{\text{эл}}$ – изменение энтальпии металла электрода при температуре 300 °С, Дж/г.

12. Далее рассчитывается площадь наплавленного металла

$$F_{\text{н}}' = \frac{F_{\text{эл}} \cdot V_{\text{пп}}}{V_{\text{св}}}, \quad (14)$$

Получившееся фактическое значение площади наплавленного металла не должно отличаться от заданного более чем на 10%. При расхождении больше 10% корректируют значения параметров режима сварки.

13. Определяем фактическую высоту усиления шва

$$g' = \frac{1,375 \cdot (F_{\text{н}}' - F_{\Delta})}{e_p'}, \quad (15)$$

где F_{Δ} – площадь разделки, мм²

14. Затем определяется приведенная глубина проплавления по следующему уравнению:

$$h_p'' = h_p' + \frac{F_{\Delta}}{0,735 \cdot e_p'}, \quad (16)$$

15. Рассчитываем высоту шва:

$$H = h_p'' + g' \quad (17)$$

16. Вычерчиваем линию сплавления. Форма проплавления при этом имеет форму полуэллипса. Большая полуось равна высоте шва, а малая полуось равна половине ширины шва.

Следующий этап необходимо определить температуру нагрева металла под второй дугой. При этом расстояние между дугами принимаем в диапазоне от 100 до 120 мм.

Начальную температуру металла под второй дугой определяем по уравнениям Н. Н. Рыкалина.

Для расчета температуры от прохождения первой дуги принимаем следующую модель нагрева тела (рис. 3):

– рассматриваем нагрев как сумму двух процессов:

1) нагрев края пластины сосредоточенным точечным источником с мощностью $q_{ст}$;

2) нагрев полки сосредоточенным точечным источником с мощностью $q_{п}$.

Значения $q_{ст}$ и $q_{п}$ зависят от угла наклона электрода и соотношения толщин стенки и полки. Долю погонной энергии, вводимую в полку, в соответствии с рекомендациями работы [7] необходимо определять по следующей формуле:

$$k_n = 0,374 \cdot \sqrt{\frac{\delta_c}{\delta_n}}, \quad (18)$$

Тогда долю погонной энергии, вводимую в стенку можно определить по следующему уравнению:

$$k_c = 1 - k_n. \quad (19)$$

После определения температуры металла под второй дугой производим расчет параметров режима второй дуги.

Вторая дуга должна обеспечивать требуемые катеты шва и его формирование с плавным переходом к основному металлу.

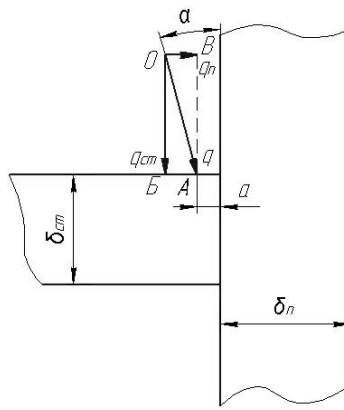


Рис. 3. Схема ввода тепла от первой дуги

Для расчета параметров режима второй дуги необходимо на эскизе сварного соединения с вычерченным швом от первой дуги отложить требуемый катет на полке и по схеме, описанной выше, определить величину смещения электрода на стенку для второй дуги.

Расчет режимов сварки и параметров шва следует вести по той же схеме, что и для первой дуги с учетом подогрева металла первой дугой. Для этого силу тока определяют по следующей формуле:

$$I_{св} = B \cdot (80 \dots 100) h_p \quad (20)$$

где B – коэффициент учитывающий влияние подогрева от первой дуги – $B = \sqrt{\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$

Для определения глубины проплавления необходимо использовать следующую формулу:

$$h = \sqrt{\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \cdot 0,076 \cdot \sqrt{\frac{q_n}{\varphi_{np}}} \quad (21)$$

Проведенная экспериментальная проверка точности данной методики показала удовлетворительную сходимость (в пределах 10 %) результатов расчета и реальных сварных швов (рис. 4 и 5).

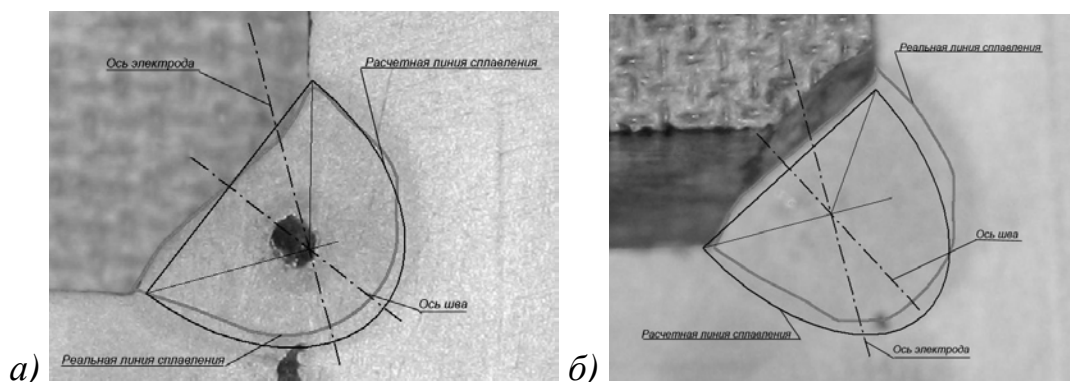


Рис. 4. Сравнение расчетных и реальных параметров шва

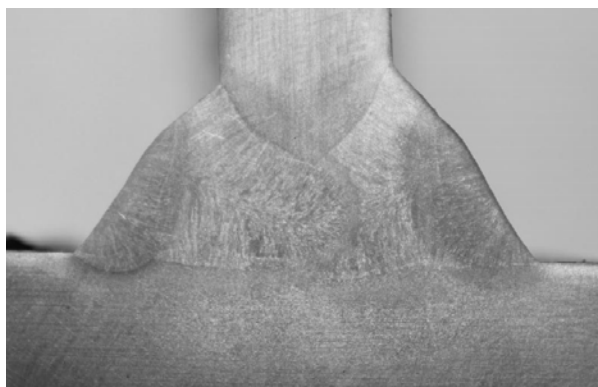


Рис. 5. Образец, сваренный на режимах, рассчитанных по предлагаемой методике (толщина стенки 16 мм)

Таким образом, данная методика может быть использована при расчете режимов двухдуговой сварки наклонным электродом угловых швов.

Список литературы

- 1 Лашенко Г. И. Технологические возможности одно-, двух- и трехдуговой сварки // Сварщик в России. 2011. – № 3. - С. 16–21
- 2 Совершенствование технологии сварки поясных швов двутавровых балок / Ю. Б. Чечулин [и др.] // СВАРКА И ДИАГНОСТИКА : сборник докладов научно-технической конференции. – Екатеринбург, 2011. – С. 145–150.
- 3 Попков А. М. Расчет параметров режима двухдуговой сварки угловых и стыковых швов // Сварочное производство. – № 7. – 1998. – С. 3–5.
- 4 Мельник С. С., Ксенз Н. Д., Кухаренко В. В. Многодуговая автоматическая сварка стальных корпусных конструкций под флюсом АН-66 // Сварочное производство. – № 8. – 1984. – С. 37–38.
- 5 Попков А. М. Методика расчета параметров режима сварки тавровых соединений с неравнокатетными угловыми швами // Сварочное производство. – № 12. – 2002. – С. 3–4.
- 6 Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демянцевич В. П. Технология и оборудование сварки плавлением : учебник для студентов вузов. – М. : Машиностроение. 1977. – 432 с.
- 7 Бельчук Г. А. Распределение тепла между элементами таврового соединения при дуговой сварке // Сварочное производство. № 5. – 1959. – С. 13–15.